

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ¹

С ростом требований к современным материалам, используемым в народном хозяйстве, возрастают требования к точности измерений их характеристик. В лаборатории теплофизики РГППУ имеется установка по изучению теплофизических свойств конденсированных веществ и материалов при высоких температурах. Установка работает с использованием метода температурных волн. В результате измерений получают такие теплофизические характеристики, как температуропроводность и теплоемкость. Согласно этому методу для расчета теплопроводности достаточно измерить величину амплитуды колебаний температуры исследуемого материала и величину фазового запаздывания температурной волны.

В недавнее время показания с датчиков снимались оператором вручную путем списывания показаний измерительных приборов. В результате эксперимента можно было получить до 300 точек. В настоящее время показания датчиков снимаются автоматизировано, и данные могут сниматься с интервалом от 0,5 до 10 сек, в результате за один эксперимент можно получить 20000 и более точек. Все данные для расчетов снимаются датчиками и поступают для обработки на вычислительные машины. Как правило, амплитуда полезного сигнала температуры маскируется большим количеством помех и шумов, обусловленных внешними факторами (перепады напряжения сети питания, механические смещения термопары и др.). Все это снижает точность измерений. Формат выходных данных с шумами можно увидеть на рис. 1.

Чтобы использовать данные эксперимента в дальнейшем, необходимо произвести их обработку. Универсальным средством для такой обработки сигналов различной природы и характера можно считать функциональный анализ. Развитие функционального анализа связано с изучением преобразования Фурье, дифференциальных и интегральных уравнений. Методы функционального анализа быстро приобрели популярность в различных областях математики и физики в качестве мощного инструмента.

¹ Работа выполнена под руководством старшего преподавателя кафедры микропроцессорной управляющей вычислительной техники РГППУ В. В. Мешкова.

Значительную роль при этом сыграла теория линейных операторов. В конце 90-х гг. XX в. в копилку функционального анализа добавилась тема, посвященная вейвлет-преобразованиям. Особенно хорошо вейвлет-преобразования зарекомендовали себя при анализе негармонических сигналов.

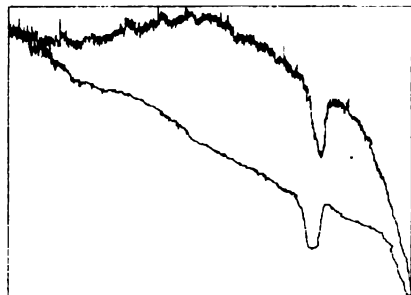


Рис. 1. Выходные данные эксперимента

Как было сказано выше, вейвлет-преобразование развилось из Фурье-анализа, с тем различием, что в качестве основы для разложения берется не гармоника, а, так называемый, вейвлет. Гармонические базисные функции преобразования Фурье предельно локализованы в частотной области (до импульсных функций Дирака при $T \rightarrow \infty$) и не локализованы во временной (определены во всем временном интервале от $-\infty$ до ∞). Их противоположностью являются импульсные базисные функции типа импульсов Кронекера, которые предельно локализованы во временной области и «размыты» по всему частотному диапазону. Вейвлеты по локализации в этих двух представлениях можно рассматривать как функции, занимающие промежуточное положение между гармоническими и импульсными функциями. Они должны быть локализованными как во временной, так и в частотной области представления. Однако при проектировании таких функций неминуемо столкновение с принципом неопределенности, связывающим эффективные значения длительности функций и ширины их спектра. Чем точнее осуществляется локализация временного положения функции, тем шире будет становиться ее спектр, и наоборот, что наглядно видно на рис. 2.

Отличительной особенностью вейвлет-анализа является то, что в нем можно использовать семейства функций, реализующих различные варианты соотношения неопределенности. Соответственно, исследователь имеет возможность гибкого выбора между ними и применения тех вейвлетных функций, которые наиболее эффективно решают поставленные задачи.

Для вейвлет-преобразования, как и для преобразования Фурье, разработаны специальные алгоритмы для реализации программным путем. Для вейвлетов таким является алгоритм Малла (Stephane Mallat). При использовании этого алгоритма сигнал представляется набором коэффициентов в виде бинарного дерева. Зная все эти коэффициенты, мы можем восстановить сигнал с любого уровня разложения, исключив при этом коэффициенты определенного уровня, сжать сигнал и избавиться от шумов. Задавать пороги исключения можно как по частоте шумов, так и по амплитуде.

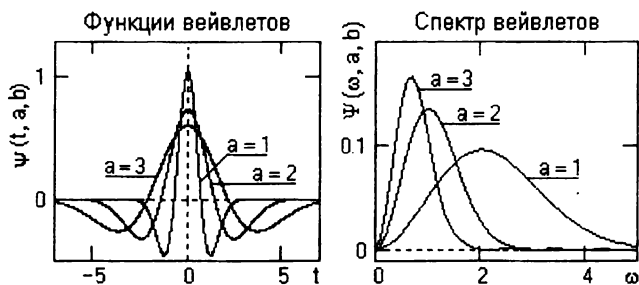


Рис. 2. Вейвлет-функция и ее спектр

Этот принцип и был использован в разработанном нами программном обеспечении. Программное обеспечение написано на языке Delphi с применением библиотек WavUtils BaseGroup Labs для Delphi4.

На первом этапе программа позволяет произвести очистку по заданным параметрам и генерацию очищенного сигнала, который можно сохранить в графическом или текстовом формате, рис. 3. В результате первого этапа нам удастся очистить сигнал от динамических шумов, возникающих в процессе эксперимента.

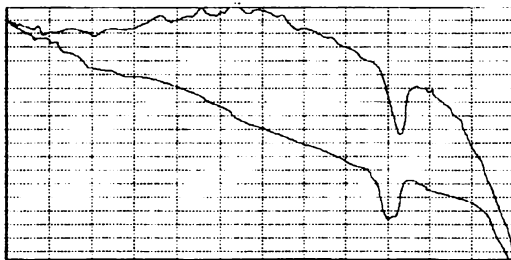


Рис. 3. Обработанные данные эксперимента

На втором этапе программа позволяет свести данные нескольких экспериментов по критическим точкам. После сведения происходит расчет усредненного графика и погрешностей отклонения. Все рассчитанные коэффициенты доступны для редактирования и ручной корректировки, в интерфейсе программы (рис. 4). В результате второго этапа нам удастся компенсировать статические ошибки, возникающие в процессе эксперимента.

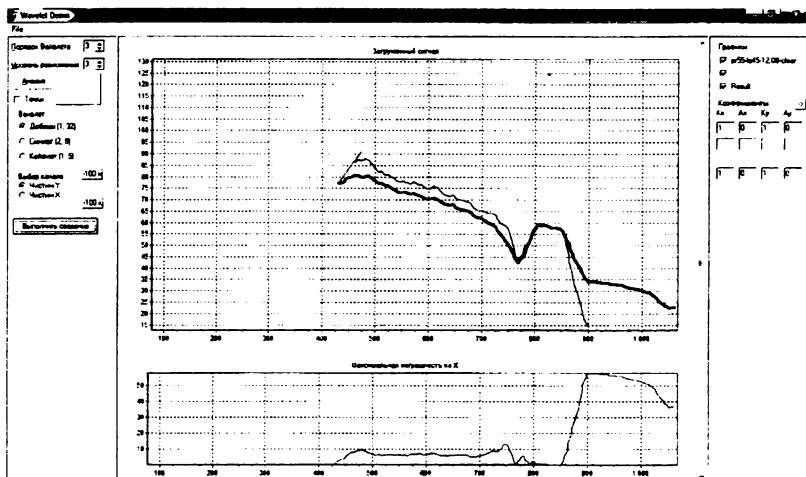


Рис. 4. Интерфейс программы

На третьем этапе определяется истинное положение характеристики за счет нормирования ее по справочным данным.

В настоящее время ведется отладка программного обеспечения.

Библиографический список

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения. Успехи физических наук. М., 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.
2. Ивлиев А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях (анализ советского и российского опыта) // Теплофизика высоких температур. М., 2009. Т. 47, № 5. С. 771–792.
3. Хавьер Пашеку. Программирование в Borland Delphi 2006 для профессионалов = Delphi for.NET Developer's Guide. М.: Вильямс, 2006.